

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro
 INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

 1725  
86  
3/025  
51026

(51) Internationale Patentklassifikation 5 :

H01S 3/025, G02B 6/42

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 91/02392

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum:

21. Februar 1991 (21.02.91)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP90/01062

(22) Internationales Anmeldedatum: 3. Juli 1990 (03.07.90)

(30) Prioritätsdaten:

P 39 25 201.9

29. Juli 1989 (29.07.89)

DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): MES-  
SERSCHMITT-BÖLKOW-BLOHM GMBH [DE/DE];  
Robert-Koch-Str., D-8012 Ottobrunn (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US) : HALLDORSSON, Thor-  
steinn [IS/DE]; Daphnestr. 15, D-8000 München 81  
(DE). KROY, Walter [DE/DE]; Beethovenstr. 30, D-  
8012 Ottobrunn (DE). PEUSER, Peter [DE/DE]; Nel-  
kenstr. 46b, D-8011 Hohenbrunn-Riemerling (DE). SEI-  
DEL, Helmut [DE/DE]; Moosbichlstr. 1, D-8130 Starn-  
berg (DE). ZELLER, Paul [DE/DE]; Sulzer-Belchen-  
Weg 27b, D-8000 München 82 (DE).(81) Bestimmungsstaaten: AT (europäisches Patent), BE (euro-  
päisches Patent), CH (europäisches Patent), DE (euro-  
päisches Patent)\*, DK (europäisches Patent), ES (euro-  
päisches Patent), FR (europäisches Patent), GB (euro-  
päisches Patent), IT (europäisches Patent), LU (europäi-  
sches Patent), NL (europäisches Patent), SE (europäi-  
sches Patent), US.

Veröffentlicht

Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: INTEGRATED MICROSYSTEM

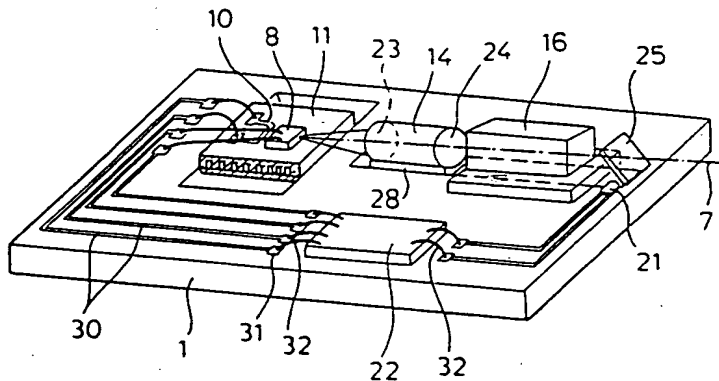
(54) Bezeichnung: INTEGRIERTES MIKROSYSTEM

(57) Abstract

An integrated microsystem with electrical and non-electrical, in particular optical functions in a laser system, comprises a base made of anisotropically etchable semiconductor material on which etched structures for receiving optical and/or electro-optical and electrical/electronic and/or fluid and/or mechanical elements or their supporting structures are arranged at given distances and/or levels apart. Integrated switching circuits are also arranged on the base. At least some of the optical, electro-optical, or mechanical elements or their supporting structure can be controlled and moved electrically so that their position relative to the base can be actively varied. At least one sensor measures the effect of the change in position on the function of at least part of the microsystem and emits a signal for repeated self-adjustment of optical elements and their support structures.

(57) Zusammenfassung

Integriertes Mikrosystem mit elektrischen und nichtelektrischen, insbesondere optischen Funktionen in einem Lasersystem, wobei eine Basis aus anisotrop ätzbarem halbleitenden Material, auf welcher Ätzstrukturen zur Aufnahme optischer und/oder elektrooptischer und elektrisch/elektronischer und/oder fluidischer und/oder mechanischer Elemente oder deren Halterungen in vorgegebenen Abständen und/oder Niveaus sowie integrierte Schaltkreise angeordnet sind und daß zumindest ein Teil der optischen, elektrooptischen oder mechanischen Elemente oder deren Halterung elektrisch derart ansteuerbar und bewegbar ist, daß ihre Position relativ zur Basis aktiv veränderbar ist und, daß zumindest ein Sensor vorgesehen ist, der die Auswirkung der Positionsveränderung auf die Funktion wenigstens eines Teils eines Mikrosystems erfaßt und ein Signal zum wiederholten Nachstellen (Selbstjustieren) optischer Elemente und deren Halterungen liefert.



### BENENNUNGEN VON "DE"

Bis auf weiteres hat jede Benennung von "DE" in einer internationalen Anmeldung, deren internationaler Anmeldetag vor dem 3. Oktober 1990 liegt, Wirkung im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland mit Ausnahme des Gebietes der früheren DDR.

#### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

|    |                                |    |                                   |     |                                |
|----|--------------------------------|----|-----------------------------------|-----|--------------------------------|
| AT | Österreich                     | ES | Spanien                           | MG  | Madagaskar                     |
| AU | Australien                     | FI | Finnland                          | ML  | Mali                           |
| BB | Barbados                       | FR | Frankreich                        | MR  | Mauritanien                    |
| BE | Belgien                        | GA | Gabon                             | MW  | Malawi                         |
| BF | Burkina Faso                   | GB | Vereinigtes Königreich            | NL  | Niederlande                    |
| BG | Bulgarien                      | GR | Griechenland                      | NO  | Norwegen                       |
| BJ | Benin                          | HU | Ungarn                            | PL  | Polen                          |
| BR | Brasilien                      | IT | Italien                           | RO  | Rumänien                       |
| CA | Kanada                         | JP | Japan                             | SD  | Sudan                          |
| CF | Zentrale Afrikanische Republik | KP | Demokratische Volksrepublik Korea | SE  | Schweden                       |
| CC | Kongo                          | KR | Republik Korea                    | SN  | Senegal                        |
| CH | Schweiz                        | LI | Liechtenstein                     | SU  | Sowjet Union                   |
| CM | Kamerun                        | LK | Sri Lanka                         | TD  | Tschad                         |
| DE | Deutschland                    | LU | Luxemburg                         | TC  | Togo                           |
| DK | Dänemark                       | MC | Monac                             | oUS | Vereinigte Staaten von Amerika |

## Integriertes Mikrosystem

Die Erfindung betrifft ein Mikrosystem zur Halterung optischer, elektrischer u.a. Komponenten sowie zur Aufnahme/Aufbringung/Anordnung elektronischer, elektrischer, hydraulischer, pneumatischer und/oder mechanischer Elemente und Einrichtungen sowie Mitteln zum Ein- und Auskoppeln von Energie, in jeglicher Form.

Stand der Technik und des technischen Gebiets auf dem die Erfindung liegt:

Die Entwicklungen in der Elektro-Optik für Kommunikation, Sensorik, Datenspeicherung, Steuer- und Regeltechnik gehen heute zunehmend in Richtung auf Mikro-Miniaturisierung und zur integrierten Elektro-Optik. Eine Miniaturisierung von Laser-Quellen war bis jetzt nur im Bereich der Halbleiterlaser möglich. Der Verkleinerung der Bauweise von Festkörperlasern stand der schlechte Wirkungsgrad der Umwandlung von elektrischer Leistung in Laserlicht, die Größe der Anregungsquellen, der Entladungslampen der optischen Bank und der einzelnen optischen Elemente, die noch in klassischer Bauweise hergestellt werden, im Wege.

Die Größe des optischen Kopfes von Dauerstrichlasern im Leistungsbereich von 1-100 W in herkömmlicher Bauweise ist typischerweise 10x10x20 cm und die Netzgeräte mit Kühlaggregaten haben, je nach Leistungsbereich, ein Gewicht von 10-100 kg. Für die Integration von Lasern in verschiedenen Systemen z.B. in der Medizin, Materialbearbeitung, Holographie, Displaytechnik und Meßtechnik ist diese Größe der Geräte und vor allem der schlechte Wirkungsgrad sehr hinderlich und einer der wesentlichen Gründe für den relativ geringen Einsatz von Lasern in diesen Gebieten.

Eine Miniaturisierung von Festkörperlasern ist nicht nur aus diesem Grunde wünschenswert, sondern sie würde auch den Einsatz von automatisierten Fertigungsverfahren von Lasern und Laser-Komponenten erheblich erleichtern.

Seit wenigen Jahren gibt es auf dem Markt Laserdioden mit GaAlAs Halbleitern, im Bereich 100 mW bis einige Watt optischer Dauerleistung als Array ausgebildet, die zur Anregung von Festkörperlasern geeignet sind. Der erste Laser dieser Art ist der diodengepumpte Nd:YAG-Laser mit der Emissionslinie  $\lambda = 1,06 \mu\text{m}$ , der sich gegenüber dem konventionell mit Entladungslampen angeregten Laser, um einen etwa 10-fachen höheren elektrisch-optischen Wirkungsgrad auszeichnet.

Der Vorteil der Umsetzung der Strahlung einer Laser-Diode in Strahlung eines Festkörperlasers liegt in der erheblich besseren Strahlqualität des letzteren und seiner geringeren spektralen Bandbreite. Bezogen auf die spektrale Strahldichte wird hier eine Verbesserung um einen Faktor über  $10^6$  erreicht.

Diodengepumpte Festkörperlaser sind z.B. in der Zeitschrift "Laser und Optoelektronik" 20 (3)/1988 Seiten 56-67 beschrieben.

Obwohl diese Laser einen deutlichen Fortschritt in Richtung Wirkungsgradsteigerung und Miniaturisierung aufweisen werden die weiteren Bauteile wie Laserspiegel, Mikrosystem, Kühler, Strahlumlenker und Abbildungsoptik noch in konventioneller Technik hergestellt, die eine wesentliche Verkleinerung kaum ermöglicht. Ihre Größe übersteigt die der Basiselemente wesentlich, wie die der Laserdiodenarrays z.B. mit Dimensionen von  $22 \times 100 \mu\text{m}$  und dem Laserkristall mit  $2 \times 5 \text{ mm}$ , z.B. um eine Größenordnung.

Eine einfache und wirtschaftliche Lösung der Kühlung einer Laserdiode und anderer optischer/elektronischer Komponenten ist zur Zeit einer der dringlichsten Probleme zum Zwecke der Miniaturisierung und eine Aufgabe der Erfindung sowie deren Integration in eine geeignete Halterung.

Die Kühler für die Laserdioden, die meistens als Peltier-, Strahlungs- oder Flüssigkeitskühler angeboten werden, sind mehrfach größer und voluminöser als das Diodengehäuse, z.B. von der Größe TO3. Das Diodengehäuse selbst mit einem Durchmesser von 100 mm ist mehrfach größer als der Diodenchip selber mit einem Durchmesser unter 1 mm. Hier ist auch eine einfachere und wirtschaftlichere Lösung gefragt.

Eine Besonderheit des Laserdiodengepumpten Festkörperlasers ist, daß die spektrale Lage der Emissionslinien der Diode genau an die effektivste Absorptionslinie des Lasermaterials angepaßt werden muß. Dies wird z.T. erreicht durch richtige Dotierung des Halbleiters. Da die Emissionswellenlänge des Halbleiters auch temperaturabhängig ist, muß die Temperatur je nach eingestelltem elektrischem Strom durch die Diode nachgeregelt werden. Als Meßgröße für die Regelung wird meistens die Ausgangsleistung des Festkörperlasers selbst verwendet und die Temperatur der Diode auf maximale Ausgangsleistung des Lasers nachgeregelt. Eine zweite Regelung ist notwendig, um die Ausgangsleistung der Laserdiode möglichst stabil zu halten. Hier wird die optische Leistung der Diode gemessen und bei einer eventuellen Änderung der Strom nachgeregelt. Beide Regelkreise greifen ineinander über und müssen gegenseitig abgestimmt werden.

#### Beschreibung der Erfindung im allgemeinen:

Die Erfindung hat es sich zur Aufgabe gemacht, eine wesentliche Miniaturisierung eines Mikrosystems und die Integration elektrischer und nichtelektrischer, insbesondere optischer Bauelemente wie z.B. diodengepumpte (Festkörper-)Laser-Systeme oder anderer Mikrosysteme und ihrer gegenseitigen Verbindungen elektrischer und nichtelektrischer Art zu erzielen, wobei Positionsveränderungen von Bauelementen/Bauteilen mit Vorteil steuerbar auszuführen sind.

Die grundlegende Lösung ist erfindungsgemäß hierbei als gemeinsame Basis, das Mikrosystem, mit der Fixierung und gegenseitigen Justierung der einzelnen Komponenten. Darüber hinaus soll diese Basis aber auch den Kühler zur Abführung der im Laser umgesetzten Wärme sowie elektronische Baugruppen zur Überwachung und Steuerung insbesondere der Laserfunktionen integrieren. Es wird hier vorgeschlagen, für diese integrale optische Bank ein Halbleitersubstrat zu verwenden. An erster Stelle kommt hierfür (kristallines) Silizium in Frage, das heute in der Mikroelektronik sehr große Verbreitung gefunden hat. Aber auch andere Halbleitersubstrate, wie z.B. GaAs oder InP können benutzt werden.

Durch die Verwendung eines Halbleitermaterials ist es möglich, die hochentwickelten Prozesstechniken der Planartechnik sowie der Mikromechanik zu verwenden, die eine sehr genaue Strukturierung im Mikrometerbereich mit hoher Reproduzierbarkeit erlauben. Aufgrund der Batch-Verfahren ist ferner bei entsprechenden Stückzahlen mit einer sehr günstigen Preisentwicklung zu rechnen. Oberflächenmontage (SMD) und rechnergestützte Fertigung (CIM) ist anwendbar.

Dieses neue Substrat ist als gemeinsames Mikrosystem Basis eines Lasers mit präzisen Justierhilfen, bestehend aus Führungs- und Befestigungsgruben, versehen, in denen Einzelkomponenten wie Spiegelhalter, Abbildungselemente und Laserkristall mit bekannten Verbindungstechniken fixiert werden können. Diese Gruben werden mit den aus der Mikromechanik bekannten anisotropen Ätzverfahren erzeugt. Ferner sollen Wärmetauscherkanäle für die Flüssigkeitskühlung der wärmeerzeugenden Bauelemente, insbesondere der Pump-Laserdiode, aber eventuell auch für den Laserkristall und die Regelungselektronik, ebenfalls mit anisotropen Ätzverfahren, erzeugt werden. Zur Regelung dieser Kühlung ist die direkte Integration eines Temperaturfühlers am Ort der Laserdiode sowie der zugehörigen Regelelektronik vorgesehen. Auch ist die direkte Integration eines Mikroventiles zur Steuerung des Flüssigkeitsstromes möglich. Der Einsatz eines kleinen diskreten Einzelventils soll jedoch nicht ausgeschlossen werden. Weiterhin können Detektoren zur Überwachung der Strahlung der Pumpdiode und des Festkörperlaser mit der dazugehörigen Signalverarbeitungs- und Regelungselektronik zur Ansteuerung der Laserdiode auf dem Halbleitersubstrat integriert werden.

Für die Wahl des Halbleitermaterials, wie Silizium, sprechen neben den bekannten, hervorragenden elektrischen Eigenschaften auch sehr gute mechanische und thermische Eigenschaften, die in der nachfolgenden Vergleichstabelle zusammengefaßt sind:

|   | Si      | Cu   | Al   | SiO <sub>2</sub> |
|---|---------|------|------|------------------|
| Spez. Gew. (g/cm <sup>3</sup> )                   | 2,33    | 8,96 | 2,70 | 2,65             |
| E-Modul * 10 <sup>12</sup> (dyn/cm <sup>2</sup> ) | 0,6-1,7 | 1,1  | 0,7  | 0,7              |
| Wärmekap. (Ws/g K)                                | 0,71    | 0,38 | 0,90 |                  |
| Wärmeleitf. (W/cm K)                              | 1,48    | 4,01 | 2,37 | 0,0132           |
| Therm. Ausdehn. * 10 <sup>-6</sup>                | 2,4     | 16,6 | 25,0 | 1,5              |

Aus diesen thermo-mechanischen Materialdaten ist ersichtlich, daß Silizium gegenüber den metallischen Materialien für die mechanische Struktur, Wärmeabfuhr und Temperaturregelung eines Lasers insgesamt wesentlich günstigere Eigenschaften besitzt. Noch weitreichender sind die Vorteile des Siliziums bei der Miniaturisierung, der Integration der vielfältigen mechanischen, thermischen, optischen und elektronischen Funktionen auf engem Raum und bei der Serienfertigung des gesamten Lasers, mit den o.a. aus der Mikroelektronik und der Mikromechanik bekannten Fertigungsverfahren.

Mit der Erfindung wird die Größe eines in Silizium o.a. Halbleitermaterial der Gruppe III bis V des periodischen Systems der Elemente hergestellten Laserkopfes mit optischer Bank im (z.B. Nd: YAG) Dauerstrichleistungsbereich von 1-100 W nur einige Zentimeter betragen und das Gewicht des Netz- und Kühlgerätes zwischen 1 und 10 kg liegen. Hiermit wird eine Reduzierung der Größe und des Gewichtes um eine Größenordnung gegenüber den herkömmlich hergestellten Lasern erreicht.

Beschreibung von Einzelheiten der Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen:

Es zeigen:

Fig. 1 V-Grube auf <100> Substrat als Justierhilfe für zylindrische Objekte,

- Fig. 2 Justierhilfe für flächige Komponenten durch anisotrop geätzte Vertiefung in dem Mikrosystem (Halbleitersubstrat),
- Fig. 3 Integrierte Führung der Kühlkanäle direkt in der optischen Bank,
- Fig. 4 Führung der Kühlkanäle in einem separaten  $\langle 100 \rangle$  Si-Substrat,
- Fig. 5 Kühleinrichtung nach Art der Fig. 4 mit zusätzlichem integrierten Mikroventil,
- Fig. 6 ein Schema des Mikrolasers mit Mikrosystem,
- Fig. 7 ein Schema ähnlich Fig. 6 mit Details, wie Spiegel und deren ortsveränderbarer Haltung/Lagerung,
- Fig. 8 ein Schema ähnlich Fig. 6 auf X-Y Tisch für die Bewegung wenigstens einzelner Komponenten des Mikro-Systems entsprechend den Pfeilen.

Die in dem ersten Ausführungsbeispiel realisierten verschiedenen Einzelfunktionen des Laser-Systems sollen nun näher erläutert werden. Die grundlegende Eigenschaft des Mikrosystems eines Lasers ist die Justierbarkeit und Befestigung der einzelnen Funktionselemente gegenüber der gemeinsamen optischen Achse. Beim Laser ist eine exakte Positionierung in allen drei Raumkoordinaten (x,y,z) und um die zwei Raumwinkel in Azimuth und Elevation ( $\phi, \psi$ ) notwendig. Die Toleranzen betragen in der Position etwa 0,1 mm und im Winkel etwa  $10^{-4}$  rad.

Die Erfindung geht davon aus, daß jedes Teil in einer festen Lage unbeweglich fixiert wird, wie es bei modernen Lasern üblich ist. Für eine Serienfertigung muß somit vorausgesetzt werden, daß Einzelteile wie Spiegel, Laserkristall oder Umlenk- und Abbildungsoptiken inklusive ihrer Halterungen mit den nötigen engen Toleranzen vorgefertigt werden können. Dann ist es möglich, die erforderliche Justiergenauigkeit durch exakte Positionierung von Justierhilfen in dem als Mikrosystem



dienenden Halbleitersubstrat - der Basis 1 - zu erzielen. Diese Justierhilfen können, je nach Form des zu positionierenden Gegenstandes, unterschiedlich beschaffen sein:

Zur Justierung von zylinderförmigen Komponenten, wie z.B. vom Laserkristall oder der erforderlichen Abbildungsoptik, bietet sich die Verwendung von kristallografisch festgelegten V-Gruben 2 an. Es wird vorgeschlagen, ein Halbleitersubstrat der Kristallorientierung (100) zu verwenden und die V-Gruben mit Hilfe der (111) Kristallebenen, die einen Neigungswinkel von  $54,7^\circ$  gegenüber der Substratoberfläche aufweisen, zu bilden. Dazu wird das Substrat mit einer Passivierungsschicht wie z.B.  $\text{SiO}_2$  oder  $\text{Si}_3\text{N}_4$  bedeckt und fotolithografisch strukturiert. Anschließend wird anisotrop mit den bekannten Ätzlösungen (z.B. KOH oder Ethylendiamin-Wasser) geätzt. Durch die geometrischen Abmessungen der Ätzmaske 5 ist die resultierende Geometrie der V-Grube mit hoher Präzision festgelegt. Auch die Höhe der optischen Achse 7 bezogen auf die Substratoberfläche 6 läßt sich bei bekanntem Durchmesser (Radius r) des zu justierenden Objektes (opt. Teil) sehr genau einstellen (siehe Fig. 1). Die geringe Restätzrate der (111) Kristallebenen kann bei der Auslegung der Lithografiemaske berücksichtigt werden, so daß Genauigkeiten im Mikrometerbereich erzielt werden können.

Zur Justierung von flächigen Komponenten, wie z.B. der (Laser-)Diode 8, können Vertiefungen 9 in den Halbleiter 1 geätzt werden, die ebenfalls von <111>-Kristallflächen begrenzt werden. Um die Ätztiefe genau zu definieren, kann ein Ätzstop zeitweise (nicht dargestellt) eingebaut werden. Eine Möglichkeit besteht in der Erzeugung eines pn-Übergangs 10 in der gewünschten Tiefe mittels Epitaxie oder Ionenimplantation. Durch elektrochemisches, anisotropes Ätzen erfolgt ein sehr präziser Stop an der Grenzschicht 10. Als weitere Möglichkeit können hochbordotierte Schichten verwendet werden, an denen ebenfalls ein Ätzstop erfolgt. Ein Beispiel hierzu ist in Fig. 2 dargestellt.

Wenn, wie Fig. 3 zeigt, ein Kühlelement 11 zu integrieren ist, kann es, wie im folgenden beschrieben, auch von Vorteil sein, wenn das Substrat 1

die Kristallorientierung (110) besetzt. Dort werden V-Gruben 2 mit einem Flankenwinkel von  $35,3^\circ$  zur Scheibenoberfläche für die Kühlwasserführung genutzt. Ferner erlaubt dieser Substrattyp die Herstellung von Gruben mit senkrechten Flanken 12.

Für das Fixieren der Komponenten 3 in den Justierhilfen stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Glasteile 13 können gut mit Siliziumteilen 11 durch die sog. anodische Verbindungstechnik verbunden werden. Dazu werden die Teile auf  $400 - 500^\circ\text{C}$  erhitzt und eine Spannung von  $500 - 1000\text{ V}$  angelegt. Die Verbindung kommt ohne eine Zwischenschicht zustande. Eine andere Möglichkeit besteht in der Verwendung von niedrigschmelzenden Glasloten, die auch als Dünnschicht aufgebracht werden können, und durch Erhitzung zu einer stabilen Verbindung führen. Ein weiteres Verbindungs-Verfahren besteht in der Verwendung von eutektischen Materialien, z.B. Si-Au, das bei  $370^\circ\text{C}$  ein Eutektikum bildet. Dazu wird auf das zu verbindende (Glas-)Teil eine Goldschicht aufgedampft und dann auf das Siliziumteil 11 (od. 1) gelegt - oder umgekehrt - und über den eutektischen Punkt erhitzt. Falls nur niedrige Temperaturen bei der Verbindung erlaubt werden können, kommen Klebetechniken mit geeigneten Ein- oder Mehrkomponenten-Klebern zur Anwendung.

Die zweite Aufgabe des Mikrosystems ist die Wärmeabfuhr von heißen Teilen. Das betrifft vor allem die Laserdiode 8 und mit Einschränkungen auch die anderen Teile der Optik, der Elektronik 15 sowie bei sehr hohen Pumpleistungen den Laserkristall 16. Typische Werte des elektrisch-optischen Wirkungsgrades der Laserdiode liegen z.Z. bei  $40-50\%$ , d.h.  $50-60\%$  der Leistung werden in Wärme umgesetzt. Typische Ausgangsleistungen der Dioden 8 liegen z.Z. im Bereich von  $100\text{ mW}$  bis  $5\text{ W}$ , so daß entsprechende Wärmeleistungen von einem sehr kleinen Volumen von einer Größe weit unter  $1\text{ mm}^3$  abgeführt werden müssen. Die effektivste Art der Kühlung ist die mit Flüssigkeit. Die Erfindung sieht Wasser als Kühlmittel vor. Dazu können Kühlkanäle 12 in das Halbleitersubstrat 1 integriert werden.

m  
g  
Diese Kühlkanäle 12 können ebenfalls durch anisotropes Ätzen erzeugt werden. Am besten eignet sich hierfür ein Substrat 1 der Kristallorientierung (110), da dort sehr tiefe und, falls erforderlich, auch sehr schmale Kanäle 12 mit senkrechten Flanken erzeugt werden können. Für die prinzipielle Anordnung gibt es zwei Möglichkeiten (Fig. 3 und Fig.4).

7  
Zum einen können die Kanäle 12 direkt in das Mikrosystem eingätzt werden und von einem zweiten, darunterliegenden Teil 13, das die Zuführungskanäle 2 enthält, abgedichtet werden. Diese Anordnung ist in Fig. 3 dargestellt.

Zum anderen besteht die Möglichkeit, die Laserdiode 8 auf ein eigenes, kleines Teil 11 zu montieren, in das die erforderlichen Kühlkanäle 12 eingätzt werden und dann diese Gesamteinheit auf das Mikrosystem zu montieren (siehe Fig. 4). Dann muß die Basis 1 des Mikrosystems die Dichtfunktion übernehmen sowie die erforderlichen Zuführungskanäle 2 enthalten. Die erstgenannte Möglichkeit setzt voraus, daß die Basis des Mikrosystems selbst die Kristallorientierung (110) besitzt. Dies muß bei der Auslegung der Justierhilfstrukturen berücksichtigt werden und führt insofern zu einer Verkomplizierung gegenüber (100) Substraten, als dann keine rechtwinklige Symmetrie mehr zur Verfügung steht. Bei der zweiten Möglichkeit kann bei der Basis 1 des Mikrosystems die Orientierung (100) beibehalten werden. Allerdings wird hier der Justiervorgang aufwendiger, da die Diode 8 auf dem Zwischenteil 11 und anschließend das Zwischenteil auf der Basis 1 des Mikrosystems mit hoher Genauigkeit positioniert werden müssen.

Die Temperatur der Diode 8 muß üblicherweise mit einer Genauigkeit von  $0,1^{\circ}\text{C}$  geregelt werden. Da der Diodenstrom und damit die Ausgangsleistung steuerbar sein muß, ist eine Regelung der Kühlung unerlässlich. Die Erfindung sieht vor, daß der Kühlwasserstrom (Zufuhr, Abfuhr, Durchsatz) über wenigstens ein Ventil 19 in Abhängigkeit der Temperatur der Diode 8 gesteuert wird. Dieses Ventil ist im einfachsten Fall ein diskretes Dosierventil, das in hybrider Bauweise integriert wird. In Weiterbildung

der Erfindung ist jedoch vorgesehen, ein Mikroventil direkt in das Mikrosystem zu integrieren. Dies kann z.B. in der Bauform nach Patent DE 36 21 331 C2 geschehen. Eine mögliche Ausführung hierzu ist in Fig. 5 dargestellt.

Zur Erfassung der Temperatur bietet sich an, einen Temperaturfühler 20, z.B. in Form eines temperaturabhängigen Widerstandes, direkt am relevanten Ort (z.B. an der Diode 8) in das Mikrosystem zu integrieren. Als Widerstandsmaterial kommen z.B. Dünnschichten aus Platin, Nickel oder aus polykristallinem Silizium in Frage.

Die Erfindung sieht weiterhin vor, daß die optische Ausgangsleistung der Laserdiode 8 sowie des Laserkristalls 11 ständig überwacht werden. Dies geschieht dadurch, daß ein Teil der Strahlung (von 8) auf einen optischen Detektor 21, wie eine Photodiode, geleitet wird. Kurzzeit- und Langzeit-Schwankungen der Ausgangsleistung der Diode 8 bzw. des Festkörperlaser können damit über den Diodenstrom ausgeglichen werden. Diese Überwachung und Regelung der Ausgangsleistung (von 8) bietet letztendlich auch die Möglichkeit einer indirekten Temperaturerfassung, da Temperaturschwankungen zu einer Verminderung der Leistung führen. Die elektronische Regelung ist so auszulegen, daß die Ausgangsleistung des Lasers ständig im optimalen Bereich gehalten wird.

Die für das Gesamtsystem erforderliche Elektronik, wie z.B. Sensorsignal-Vorverstärker, Signalverarbeitungs- und -auswerteschaltung und Regelschaltung für den Diodenstrom (von 8) bzw. für das Steuern (mit Ventil 19) der Kühlung werden im allgemeinen aus ökonomischen Gründen als kundenspezifische IC's separat gefertigt und auf das Mikrosystem aufgebondet.

Dabei können auch Vorrichtungen zur Kühlung der IC's mit hohen Verlustleistungen (z.B. zur Regelung des Diodenstromes) in dem Mikrosystem in der oben beschriebenen Weise mit vorgesehen werden. Die Anforderungen an die Temperaturkonstanz sind hier wesentlich entspannter (ca.  $\pm 10^\circ\text{C}$ ) als bei der Pumpdiode. Hier können auch eingebaute

Wärmesenken ausreichen, insbesondere wenn Wärmebarrieren in Form von V-Gruben dazwischen eingelassen sind.

Bei der Erfindung ist jedoch auch vorgesehen, die gesamte erforderliche Elektronik unmittelbar in das Mikrosystem mit zu integrieren. Dies kann unter Nutzung einer Standard-Schaltkreistechnologie, wie z.B. CMOS oder Bipolar, erfolgen. Dadurch ist ein Höchstmaß an Miniaturisierung und Störsicherheit des Gesamtsystems zu erreichen. Der IC kann auch die Steuerung für die relative Lage-/Positions-/Abstands-/Aktuatoren- bzw. Stellglieder optischer Teile enthalten.

Ferner ist vorgesehen, daß auf dem Mikrosystem aus Silizium oder einem anderen Halbleitermaterial als Basis 1 ebenso andere optische Teile, insbesondere aus mikromechanisch strukturiertem Silizium befestigt werden. Die für den Laserresonator eingesetzten Spiegel 23, 24 sind als mikromechanische, elektrisch ansteuerbare Teile der Optik 14 besonders vorteilhaft. Mit solchen Spiegeln wird über die gesamte Betriebs- und Lebensdauer der Anordnung die ständige automatische Nachjustierung des Resonators 26 ermöglicht.

Erfindungsgemäß werden hierzu eine oder mehrere Kontrolldioden 21 im Außenbereich 25 des Resonators 26 so angeordnet, daß die integrale Intensität der Ausgangsstrahlung oder andere Strahlparameter, wie z.B. der Strahldurchmesser, die Modenstruktur, die Strahlrichtung oder die zeitliche Modulation der Strahlung fortlaufend elektronisch registriert werden. Die Meßwerte werden mit extern vorgegebenen Sollwerten verglichen und bei zufällig oder durch äußere und innere Störeinflüsse wie Erschütterungen, Strom- und Spannungsschwankungen auftretenden Abweichungen, werden entgegengewirkende Stellsignale für Aktuatoren erzeugt, welche die Positionen oder Bewegungen oder Biegungen der mikromechanischen Spiegel der Optik oder anderer optischer Teile wie mikromechanischer Strahlformer (Blenden, Ringschlitzen, Prismen, Spalte usw.) verändern. Die Steuerkräfteerzeugung und -einwirkung kann dabei auf thermische, mechanische, fluidische, elektrische, magnetische, thermomechanische, magnetostriktive, elektromagnetische, piezoelektrische oder elektrostatische Weise erfolgen.

Durch die erfindungsgemäße Steueranordnung (vgl. Anspruch 20) wird die Lebensdauer eines Lasers - im Gegensatz zu heutigen Lasern -, weil Justiereingriffe oder mechanische oder elektrische Wartungsarbeiten nicht mehr erforderlich sind, wesentlich erhöht.

Entsprechend fallen äußere Justiermechaniken und dergleichen weg, was eine weitere Verkleinerung des Produktes ermöglicht. Das neue Mikrosystem ist gänzlich über einen Mikrocomputer und Rechnersoftware steuerbar, was für den Nutzer eine erhebliche Vereinfachung, Erhöhung der Betriebssicherheit und Flexibilität bedeutet. Durch die Integration fluider, mechanischer, elektrischer und optischer Elemente auf sehr kleinem Raum fallen eine Vielzahl von Steckern und Leitungen weg, die üblicherweise ca. 50% der Fehler und Betriebsunfälle verursachen. Die erfindungsgemäße Anordnung weist dadurch eine besonders hohe Zuverlässigkeit auf, insbesondere weil große bewegliche Teile, die Verschleiß unterliegen, entfallen.

Die erfindungsgemäße Basis (Halbleitersubstrat) eignet sich auch für den direkten Einbau/Integration von Kopplern, insbesondere Opto-Kopplern, wie Lichtleiter, etwa wie in der Zeitschrift "Laser und Optoelektronik" 20(3)/1988, Seite 66 beschrieben und in Abb. 8, 9 und 10 dort dargestellt oder auch in EP 0 197 117 B1.

Nicht nur Halbleiterlaser/Festkörperlaser als (Licht-)Sender, sondern auch als (Licht-)Empfänger für elektromagnetische Strahlung sind so auf einem gemeinsamen Mikrosystem anzuordnen. Die Signalausgabe und -auswertung kann optisch/elektrisch oder kontinuierlich (optimiert) erfolgen. Die Anwendung kann allgemein für meßtechnische Zwecke erfolgen, aber auch für andere Zwecke, wie die der Steuerungs-, Regel-, Analysen- und der Nachrichtentechnik, insbesondere in Verbindung mit Lichtwellenleitern.

Die Erfindung ist nicht auf die Art der beschriebenen Sensoren, Aktuatoren, Antriebe, Steuer- und Regeleinrichtungen für eine Aufbau mit mikromechanischer Basis beschränkt, noch auf elektrische oder nichtelektrische Komponenten und deren bekannte Verbindungsmöglichkeiten

sowohl fest als auch beweglich. Energie jeglicher Form auch nach Umwandlung ist ein- und auskoppelbar und anwendbar für alle Zwecke der Erfindung, insbesondere nach den Ansprüchen 1 bis 20.

Die Erfindung ist nicht auf die angegebenen Ausführungsbeispiele beschränkt.

Während in den Figuren 1 bis 5 Einzelheiten einer mikromechanischen Basis als Mikrosystem dargestellt sind, enthält Fig. 6 eine schematische Darstellung des Gesamtaufbaus.

In Fig. 7 ist - abweichend zur Fig. 6 - die Halterung 28 für optische Teile, wie Spiegel 23, 24 ersichtlich. Dazu sind die Halteteile 28 so ausgebildet, daß diese aus je zwei Balken in Form der V-Gruben 2 kreuzförmig (ineinander) z.B. elektrisch, magnetisch, fluidisch (mittels Überdruck/Unterdruck) verschiebbar und/oder versetzbar sind (vgl. die Pfeile für mögliche Schiebebewegung in X-Y-Richtung). Die Spiegel 23, 24, 25 sind kardanischn aufgehängt und sind von Aktuatoren 27 bewegbar, insbesondere schwenkbar, drehbar, längs und/oder quer, sowie relativ zu anderen Komponenten, Teilen, Elementen des Systems und der Basis 1, auch auf andere Niveaus (Z-Richtung).

In Fig. 8 ist - ähnlich zur Fig. 7 - das System auf einem X-Y-Tisch angeordnet bzw. bildet die Basis 1 einen Teil eines solchen Tisches, welcher von außerhalb insbesondere programmgesteuert wird von einem Mikroprozessor oder Mikrocomputer, etwa nach Art bekannter X-Y-Tische, wie in EP 0 149 017 B1 beschrieben oder X-Y-Z-Tische wie in EP 0 319 602 A1 beschrieben.

Die Aktuatoren/Stellantriebe und/oder Justierhilfen und/oder Regelung für Positionsänderungen einzelner Bauelemente/Bauteile und ihre Steuerung können vom Fachmann je nach Anwendungsfall der Erfindung ausgewählt und daran angepaßt werden. Gleiches gilt für die Art der Quelle, Kühlung, Wärmeabfuhr, Wärmesenke, ohne auf die beschriebenen Ausführungen beschränkt zu sein.

Je nach Anwendungsfall können externe Rechner, Prozessoren, elektronische Steuerungen, Regelungen, Auswerte- und Dokumentations- (Speicher-)einrichtungen angeschlossen werden.



## Integriertes Mikrosystem

### Patentansprüche

1. Integriertes Mikrosystem mit elektrischen und nichtelektrischen, insbesondere optischen Funktionen in einem Lasersystem, gekennzeichnet durch eine Basis aus anisotrop ätzbarem halbleitenden Material, auf welcher Ätzstrukturen zur Aufnahme optischer und/oder elektrooptischer und elektrisch/elektronischer und/oder fluidischer und/oder mechanischer Elemente oder deren Halterungen in vorgegebenen Abständen und/oder Niveaus sowie integrierte Schaltkreise angeordnet sind und daß zumindest ein Teil der optischen, elektrooptischen oder mechanischen Elemente oder deren Halterung elektrisch derart ansteuerbar und bewegbar ist, daß ihre Position relativ zur Basis aktiv veränderbar ist und, daß zumindest ein Sensor vorgesehen ist, der die Auswirkung der Positionsveränderung auf die Funktion wenigstens eines Teils eines Mikrosystems erfaßt und ein Signal zum wiederholten Nachstellen (Selbstjustieren) optischer Elemente und deren Halterungen liefert.
2. Integriertes Mikrosystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es zum Einstellen eines diodengepumpten Festkörperlaser entlang einer Achse (optische Achse) und dessen Steuerung/Regelung/Kühlung, Ein- und Auskopplung von Energie ausgebildet ist.
3. Integriertes Mikrosystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es elektronische Schaltungen, insbesondere Steuer- und Regelkreise für das Lasersystem und ihre Verbindungen, Sensoren, Aktuatoren enthält.
4. Integriertes Mikrosystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß es Mittel zum Wärmeaustausch, insbesondere zur Wärmeabführung (Kühlung des Lasersystems) enthält.

5. Integriertes Mikrosystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die aktive Selbstjustierung des diodengepumpten Festkörperlasers über die gesamte Betriebsdauer des Lasers wirksam ist, um eine Sollposition wenigstens einiger (optischer) Komponenten einzuhalten.

6. Integriertes Mikrosystem für elektrische und nichtelektrische, insbesondere optische Mittel eines Lasersystems, dadurch gekennzeichnet, daß es einen Körper aus anisotrop ätzbarem einkristallinem Halbleitermaterial aufweist, der mechanische Trägerfunktion für Komponenten eines Festkörperlasers mit Pumpdiode, wie Optik, Resonatoren, Laserkristall und Elektronik/Fluidik übernimmt, der mit Justierhilfen wie V-Gruben und Vertiefungen zur exakten Positionierung der Komponenten versehen ist und daß der Halbleiterkörper zugleich als Kühlkörper der leistungsintensiven Komponenten durch eingebaute Flüssigkeitskühlkanäle dient.

7. Integriertes Mikrosystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei Funktionselementen des diodengepumpten Lasers, die einer besonders hohen Justiergenauigkeit bedürfen, wie Resonatorspiegeln, Strahlumlenker, Strahlformer usw. ihre Halterung so ausgebildet ist, daß sie mit Aktuatoren, die in der Basis eingebaut sind, exakt justierbar sind durch Nachstellen in eine Sollposition, wobei das Steuersignal aus dem Meßsignal von Laserstrahlungssensoren, die mit der Steuerelektronik auf dem Mikrosystem integriert sind, abgeleitet wird.

8. Integriertes Mikrosystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß veränderliche Komponenten des Lasersystems nur einmal kurz nach der Herstellung in ihre Lage, Abstand und dgl., insbesondere durch Verschieben in V-Gruben in eine Ausgangsposition justiert wird und daß andere Komponenten für die Betriebsdauer des Lasers in diesem Zustand mit Gießmitteln, Klebmitteln oder Löt- bzw. Schweißmitteln gefesselt werden.

9. Integriertes Mikrosystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerung der Lage von Einzelkomponenten des Lasersystems, insbesondere optischen Komponenten des Systems, mechanisch/elektrisch, magnetisch, thermisch, fluidisch, mittels Aktuatoren/Antriebe erfolgt.

10. Integriertes Mikrosystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerung der Lage von Einzelkomponenten des Lasersystems, insbesondere optischen Komponenten des Systems, fluidisch erfolgt durch Strömungsbewegung eines Mediums, das zu- oder abgeführt wird (Unterdruck, Überdruck).

11. Integriertes Mikrosystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Wärmebarrieren durch anisotrop geätzte V-Gruben zwischen Bereichen mit Komponenten unterschiedlicher Temperaturanforderungen in dem Mikrosystem angeordnet sind.

12. Integriertes Mikrosystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Kühlkanäle aus parallelen V-Gruben in Richtung des Kristallgitters des Halbleiterkörpers möglichst nahe an dem Diodenlaser angeordnet sind.



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/EP90/01062

| <b>I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> (if several classification symbols apply, indicate all) <sup>6</sup><br>According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC<br><br>Int.Cl <sup>5</sup> : H01S 3/025; G02B 6/42  |  |                                     |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
|--|--|-------------------------------------|---|--|-------------------------------------|----------------------------|--|---------------------------------|------------------------|--|---------|---|---|------|---|--|---|---|--|----|
| <b>II. FIELDS SEARCHED</b><br><br><div style="text-align: center;">Minimum Documentation Searched <sup>7</sup></div> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">Classification System  </td> <td style="width: 50%; border: none;">Classification Symbols</td> </tr> <tr> <td style="border: none; padding-top: 10px;">Int.Cl<sup>5</sup></td> <td style="border: none; padding-top: 10px;">H01S; G02B; F15B</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; padding-top: 10px;">Documentation Searched other than Minimum Documentation<br/>to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched <sup>8</sup></div>   |  |                                     | Classification System                                     | Classification Symbols   | Int.Cl <sup>5</sup>                 | H01S; G02B; F15B           |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| Classification System  | Classification Symbols   |                                     |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| Int.Cl <sup>5</sup>  | H01S; G02B; F15B   |                                     |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| <b>III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <sup>9</sup></b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">Category <sup>10</sup></th> <th style="width: 70%;">Citation of Document, <sup>11</sup> with indication, where appropriate, of the relevant passages <sup>12</sup></th> <th style="width: 20%;">Relevant to Claim No. <sup>13</sup></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">A</td> <td>US, A, 4827485 (D.G. SCERBAK ET AL.) 2 May 1989<br/>see the whole document<br/>---</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">1-4, 6-9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">A</td> <td>EP, A, 0251718 (AMCO CORP.) 7 January 1988<br/>see column 9, lines 22-57<br/>see column 10, lines 1-56; figures 1-4,5<br/>---</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">1, 6, 8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">A</td> <td>DE, A, 1917005 (SIEMENS) 8 October 1970<br/>see claims; figures 1,2<br/>---</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">1, 6</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">A</td> <td>EP, A, 0171615 (NTT CORP.) 19 February 1986<br/>see abstract; figures 6,7,8,16<br/>---</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">A</td> <td>DE, A, 3630700 (SIEMENS) 17 March 1988<br/>see abstract; figures 1-4<br/>-----</td> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">10</td> </tr> </tbody> </table> |  |                                     | Category <sup>10</sup>                                    | Citation of Document, <sup>11</sup> with indication, where appropriate, of the relevant passages <sup>12</sup> | Relevant to Claim No. <sup>13</sup> | A                          | US, A, 4827485 (D.G. SCERBAK ET AL.) 2 May 1989<br>see the whole document<br>--- | 1-4, 6-9                        | A                      | EP, A, 0251718 (AMCO CORP.) 7 January 1988<br>see column 9, lines 22-57<br>see column 10, lines 1-56; figures 1-4,5<br>--- | 1, 6, 8 | A | DE, A, 1917005 (SIEMENS) 8 October 1970<br>see claims; figures 1,2<br>--- | 1, 6 | A | EP, A, 0171615 (NTT CORP.) 19 February 1986<br>see abstract; figures 6,7,8,16<br>--- | 1 | A | DE, A, 3630700 (SIEMENS) 17 March 1988<br>see abstract; figures 1-4<br>----- | 10 |
| Category <sup>10</sup>   | Citation of Document, <sup>11</sup> with indication, where appropriate, of the relevant passages <sup>12</sup>             | Relevant to Claim No. <sup>13</sup> |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| A  | US, A, 4827485 (D.G. SCERBAK ET AL.) 2 May 1989<br>see the whole document<br>---   | 1-4, 6-9                            |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| A  | EP, A, 0251718 (AMCO CORP.) 7 January 1988<br>see column 9, lines 22-57<br>see column 10, lines 1-56; figures 1-4,5<br>--- | 1, 6, 8                             |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| A  | DE, A, 1917005 (SIEMENS) 8 October 1970<br>see claims; figures 1,2<br>---  | 1, 6                                |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| A  | EP, A, 0171615 (NTT CORP.) 19 February 1986<br>see abstract; figures 6,7,8,16<br>---                                       | 1                                   |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| A  | DE, A, 3630700 (SIEMENS) 17 March 1988<br>see abstract; figures 1-4<br>-----   | 10                                  |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p><sup>10</sup> Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p> </div> </div>   |  |                                     |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| <b>IV. CERTIFICATION</b> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; padding-bottom: 5px;">Date of the Actual Completion of the International Search</td> <td style="width: 50%; border: none; padding-bottom: 5px;">Date of Mailing of this International Search Report</td> </tr> <tr> <td style="border: none; text-align: center;">15 October 1990 (15.10.90)</td> <td style="border: none; text-align: center;">30 October 1990 (30.10.90)</td> </tr> <tr> <td style="border: none; padding-bottom: 5px;">International Searching Authority</td> <td style="border: none; padding-bottom: 5px;">Signature of Authorized Officer</td> </tr> <tr> <td style="border: none; text-align: center;">European Patent Office</td> <td style="border: none;"></td> </tr> </table>   |  |                                     | Date of the Actual Completion of the International Search | Date of Mailing of this International Search Report  | 15 October 1990 (15.10.90)          | 30 October 1990 (30.10.90) | International Searching Authority  | Signature of Authorized Officer | European Patent Office |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| Date of the Actual Completion of the International Search  | Date of Mailing of this International Search Report  |                                     |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| 15 October 1990 (15.10.90)   | 30 October 1990 (30.10.90)   |                                     |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| International Searching Authority  | Signature of Authorized Officer  |                                     |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |
| European Patent Office   |  |                                     |   |  |                                     |                            |  |                                 |                        |  |         |   |   |      |   |  |   |   |  |    |

# ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.

EP 9001062  
SA 38241

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report.  
The members are as contained in the European Patent Office EDP file on  
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

24/10/90

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| US-A-4827485                              | 02-05-89            | None                       |                     |
| EP-A-0251718                              | 07-01-88            | US-A- 4731795              | 15-03-88            |
|   |                     | AU-A- 7474387              | 07-01-88            |
|   |                     | JP-A- 63027079             | 04-02-88            |
| DE-A-1917005                              | 08-10-70            | None                       |                     |
| EP-A-0171615                              | 19-02-86            | JP-A- 61242069             | 28-10-86            |
|   |                     | JP-A- 61046911             | 07-03-86            |
|   |                     | JP-A- 61087113             | 02-05-86            |
|   |                     | JP-A, B, C 61117513        | 04-06-86            |
|   |                     | JP-A- 61133911             | 21-06-86            |
|   |                     | US-A- 4735677              | 05-04-88            |
|   |                     | US-A- 4750799              | 14-06-88            |
| DE-A-3630700                              | 17-03-88            | None                       |                     |

EPO FORM P0479

For more details about this annex : see Official Journal of the European Patent Office, No. 12/82

I. KLASSEIFIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben)<sup>6</sup>

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

Int.Kl. 5 H01S3/025 ; G02B6/42

## II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff<sup>7</sup>

Klassifikationssystem

Klassifikationssymbole

Int.Kl. 5

H01S ;

G02B ;

F15B

Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen<sup>8</sup>III. EINSCHLÄGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN<sup>9</sup>

| Art. <sup>9</sup> | Kennzeichnung der Veröffentlichung <sup>11</sup> , soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile <sup>12</sup>            | Betr. Anspruch Nr. <sup>13</sup> |
|-------------------|---|----------------------------------|
| A                 | US,A,4827485 (D.G. SCERBAK ET AL.) 02 Mai 1989<br>siehe das ganze Dokument<br>---   | 1-4, 6-9                         |
| A                 | EP,A,0251718 (AMCO CORP.) 07 Januar 1988<br>siehe Spalte 9, Zeilen 22 - 57<br>siehe Spalte 10, Zeilen 1 - 56; Figuren 1-4, 5<br>--- | 1, 6, 8                          |
| A                 | DE,A,1917005 (SIEMENS) 08 Oktober 1970<br>siehe Ansprüche ; Figuren 1, 2<br>---   | 1, 6                             |
| A                 | EP,A,0171615 (NTT CORP.) 19 Februar 1986<br>siehe Zusammenfassung; Figuren 6, 7, 8, 16<br>---                                       | 1                                |
| A                 | DE,A,3630700 (SIEMENS) 17 März 1988<br>siehe Zusammenfassung; Figuren 1-4<br>---  | 10                               |

<sup>9</sup> Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen<sup>10</sup>:

- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

## IV. BESCHIEINIGUNG

|   |  |
|---|--|
| Datum des Abschlusses der internationalen Recherche<br>15. OKTOBER 1990 | Absenddatum des internationalen Recherchenberichts<br>30. 10. 90 |
| Internationale Recherchenbehörde<br>EUROPAISCHES PATENTAMT              | Unterschrift des bevollmächtigten Rechenstellen<br>R.J. Eernisse |

# ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR.

EP 9001062  
SA 38241

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am 24/10/90.  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

24/10/90

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentedokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie  | Datum der<br>Veröffentlichung  |
|---|-------------------------------|--|--|
| US-A-4827485  | 02-05-89                      | Keine  |  |
| EP-A-0251718  | 07-01-88                      | US-A- 4731795<br>AU-A- 7474387<br>JP-A- 63027079   | 15-03-88<br>07-01-88<br>04-02-88   |
| DE-A-1917005  | 08-10-70                      | Keine  |  |
| EP-A-0171615  | 19-02-86                      | JP-A- 61242069<br>JP-A- 61046911<br>JP-A- 61087113<br>JP-A,B,C61117513<br>JP-A- 61133911<br>US-A- 4735677<br>US-A- 4750799 | 28-10-86<br>07-03-86<br>02-05-86<br>04-06-86<br>21-06-86<br>05-04-88<br>14-06-88 |
| DE-A-3630700  | 17-03-88                      | Keine  |  |

EPO FORM P0473



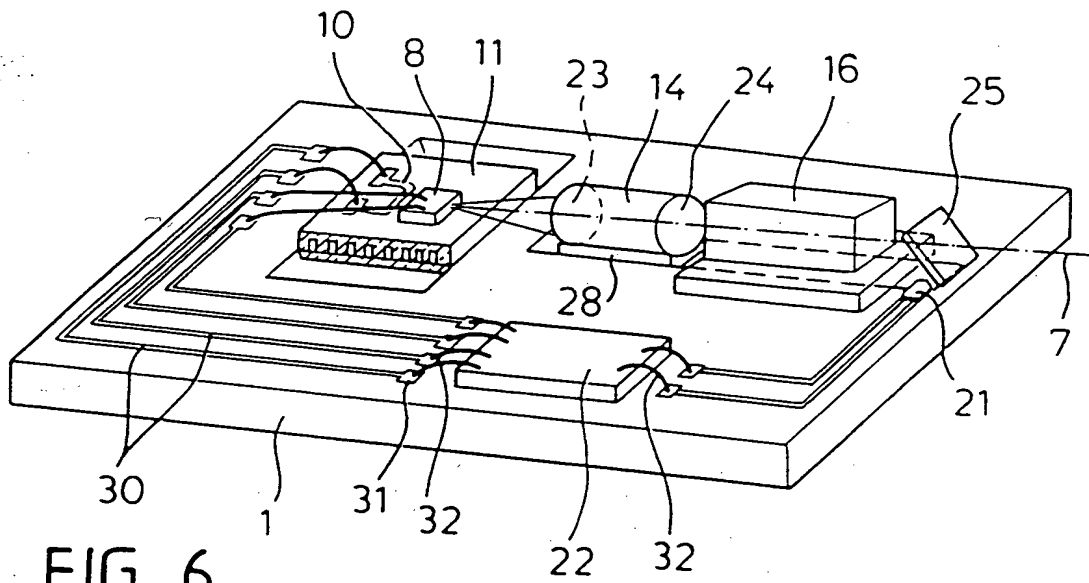


FIG. 6

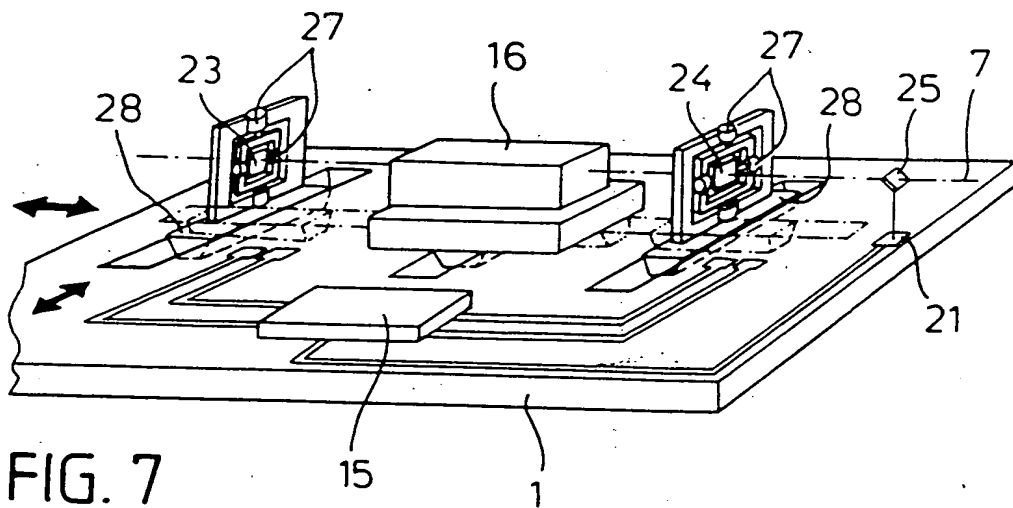


FIG. 7

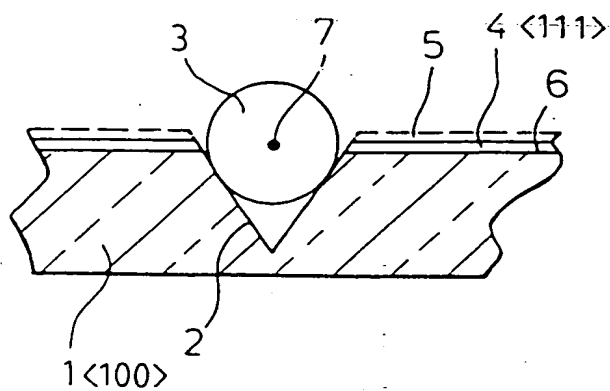


FIG. 1

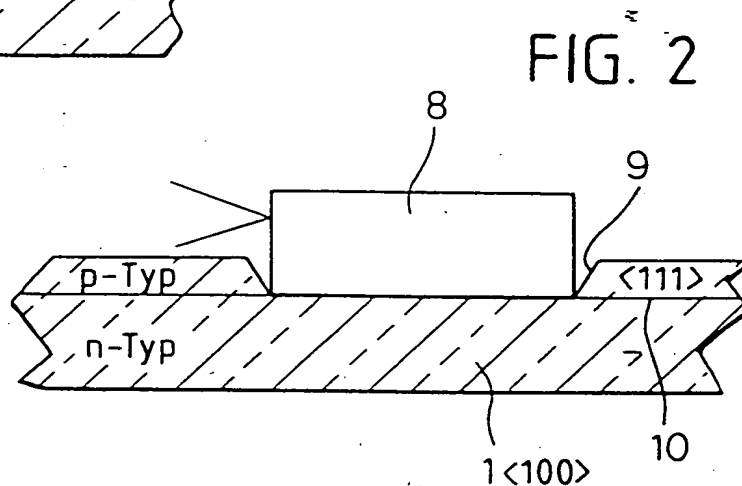


FIG. 2

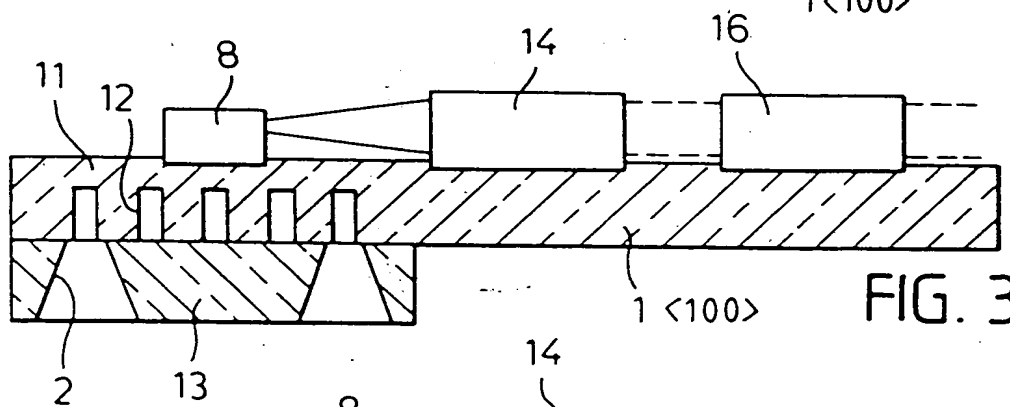


FIG. 3

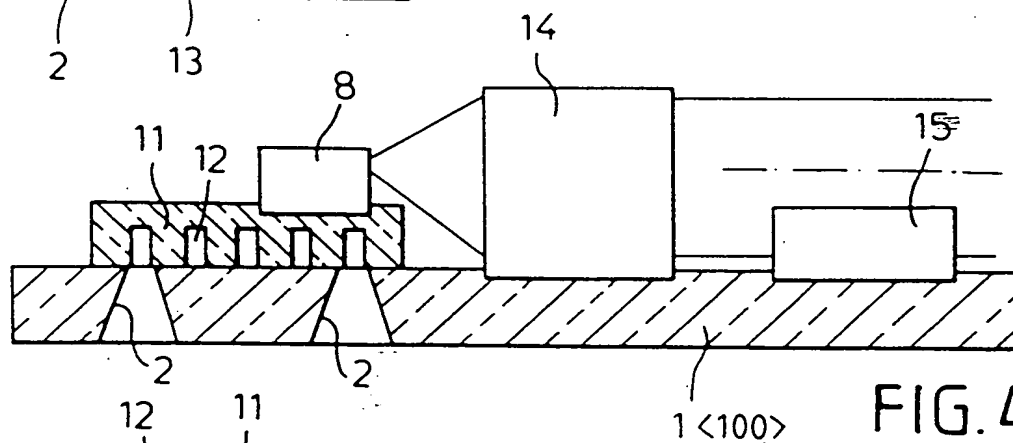


FIG. 4

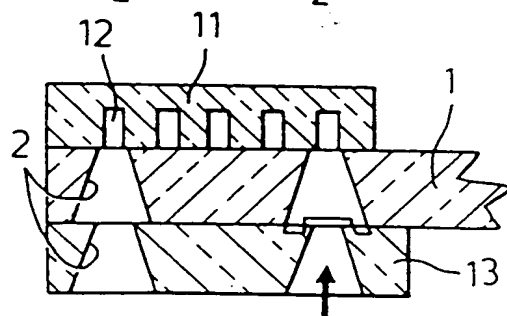


FIG. 5

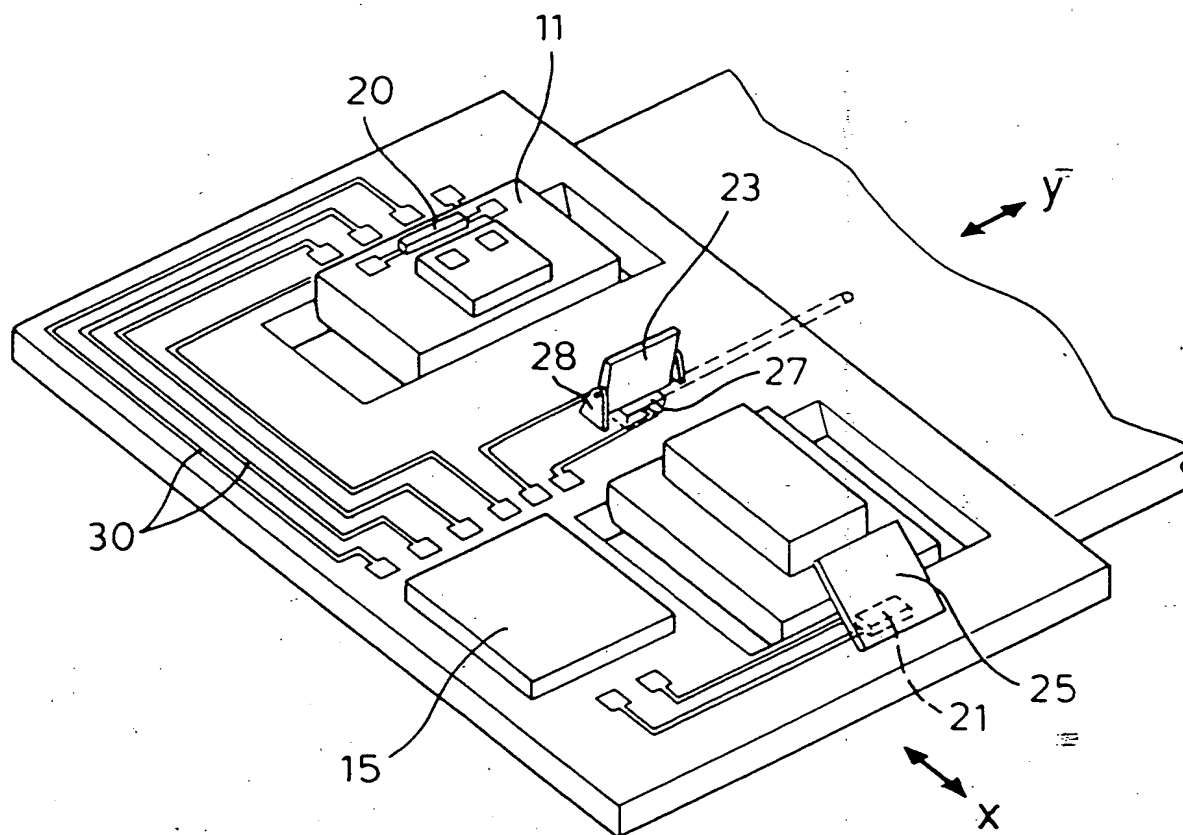


FIG. 8

